

**SIMULASI KINERJA ROTOR MULTI BLADE PADA SISI
HORIZONTAL MENGGUNAKAN PROGRAM ANSYS
VERSI 18.0 UNTUK PERENCANAAN MODEL
TURBIN ANGIN DUAL ROTOR**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Syarat Memperoleh Gelar Sarjana S1
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



Oleh:

**MULYADI
14067040/2014**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

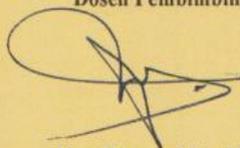
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**SIMULASI KINERJA ROTOR MULTI BLADE PADA SISI
HORIZONTAL MENGGUNAKAN PROGRAM ANSYS
VERSI 18.0 UNTUK PERENCANAAN MODEL
TURBIN ANGIN DUAL ROTOR**

Nama : Mulyadi
NIM/BP : 14067040/ 2014
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, 08 Februari 2019

Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing



Drs. Hasanuddin, M.S.
NIP. 19550520 198003 1 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin FT-UNP



Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.
NIP. 19690920 199802 1 001

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Judul : "Simulasi Kinerja Rotor Multi Blade pada Sisi
Horizontal Menggunakan Program Ansys Versi 18.0
untuk Perencanaan Model Turbin Angin Dual Rotor"
Nama : Mulyadi
NIM/BP : 14067040/ 2014
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

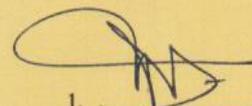
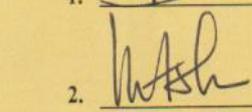
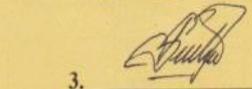
Padang, 08 Februari 2019

Tim Penguji

Nama Dosen Penguji

Tanda Tangan

1. Ketua : Drs. Hasanuddin, M.S.
2. Anggota : Dr. Waskito, M.T.
3. Anggota : Drs. Syahrul, M.Si.

1. 
2. 
3. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya dan tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 8 Februari 2017

Yang menyatakan



Mulyadi

ABSTRAK

Mulyadi : Simulasi Kinerja Rotor Multi Blade pada Sisi Horizontal Menggunakan Program Ansys Versi 18.0 untuk Perencanaan Model Turbin Angin Dual Rotor

Turbin angin *dual rotor* merupakan turbin angin yang mempunyai sisi *horizontal* dan *vertikal*. Data yang didapatkan berupa rata-rata kecepatan angin, kecepatan putaran sudu *horizontal* dan *vertikal*. Peneliti ingin membuat simulasi kinerja rotor *multi blade* pada sisi *horizontal* menggunakan aplikasi Ansys versi 18.0. Tujuan penelitian ini melihat perubahan kecepatan angin pada area *outlet* dengan kecepatan angin masuk pada area *inlet* 4 m/s. Peneliti ingin melihat tekanan angin maksimal pada area *inlet*, tekanan pada area *blade*, tekanan pada area *outlet*. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kecepatan angin pada area *inlet* adalah sebesar 4 m/s berubah menjadi 3.99237 m/s pada area *outlet*. Tekanan maksimal pada area *inlet* adalah sebesar 0.133612 Pa. berubah menjadi 457.528 Pa. ada area blade kincir angin, untuk area *outlet* tekanan berubah menjadi 0 Pa.

Kata Kunci: Turbin Angin, Ansys, Kecepatan Angin, Tekanan Maksimal

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Simulasi Kinerja Rotor Multi Blade Pada Sisi Horizontal Menggunakan Program Ansys Versi 18.0 Untuk Perencanaan Model Turbin Angin Dual Rotor”**

Penulisan skripsi ini banyak mendapatkan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Hasanuddin, M.S. selaku Dosen Pembimbing, yang telah banyak memberikan bimbingan dan bantuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Waskito, M.T. selaku Dosen Peninjau I.
3. Bapak Drs. Syahrul, M.Si. selaku Dosen Peninjau II, sekaligus Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Dr. Ir. Arwizet K., S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Bapak / Ibu Dosen dan Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

6. Teristimewa untuk kedua orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan, do'a, serta motivasi kepada penulis. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Teknik Mesin Terkhususnya Angkatan 2014, dan semua pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan selama pembuatan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan wawasan yang penulis miliki. Penulis mengaharapkan sekali kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk lebih baiknya penulisan skripsi ini demi perbaikan dimasa yang mendatang.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Padang, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT PERNYATAAN	
..... Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Energi	7
B. Turbin Angin	11
C. Potensi Energi Angin	16
D. Teori Momentum Elementer Betz.....	20
E. Efisiensi Turbin Angin	21
F. Air foil.....	23
G. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian.....	32
B. Waktu dan Tempat	32
C. Tahapan Penelitian	33
1.Persiapan bahan.....	33
2.Proses analisis numerical aliran fluida.....	34
3.Menentukan solution solver	37
D. Diagram Alir Penelitian	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Turbin Angin	44
B. Hasil Analisis Numerical	45

BAB V PENUTUP

A. KESIMPULAN	51
B. SARAN	52

DAFTAR PUSTAKA	53
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	55
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal</i>	12
Gambar 2. Turbin Angin <i>Darrieus</i>	13
Gambar 3. Turbin Angin <i>Savonius</i>	13
Gambar 4. Model Aliran Betz	21
Gambar 5. <i>Profil Airfoil</i> NACA 4415.....	26
Gambar 6. Sudut Pada Rotor <i>Blade</i>	27
Gambar 7. Perbandingan Hasil Percobaan dengan Hasil CFD	29
Gambar 8. Format Penyimpanan <i>STP File</i>	33
Gambar 9. Cara Mengimpor Gambar	34
Gambar 10. Tahapan Pada <i>Geometry</i>	35
Gambar 11. <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	36
Gambar 12. Menentukan <i>Setup General</i>	37
Gambar 13. Menentukan <i>Setup Model</i>	38
Gambar 14. Menentukan <i>Setup Boundary Condition</i>	39
Gambar 15. <i>Solution Methods</i>	40
Gambar 16. <i>Solution Control</i> dan <i>Solution Limit</i>	41
Gambar 17. Menentukan <i>Run Calculation</i>	42
Gambar 18. Pembuatan Gambar 3D Menggunakan <i>Autodesk Inventor</i>	44
Gambar 19. Perubahan Kecepatan Angin	45
Gambar 20. Tumukan Angin Terhadap <i>Blade</i>	46
Gambar 21. <i>Average Maximum Of Velocity</i>	46
Gambar 22. <i>Average Velocity On Inlet</i>	47
Gambar 23. <i>Average Velocity On Outlet</i>	47
Gambar 24. Perubahan Tekanan pada <i>Blade</i>	48
Gambar 25. <i>Average Pressure on Blade</i>	48
Gambar 26. <i>Maximum Pressure on Inlet</i>	49
Gambar 27. <i>Pressure on inlet</i>	49

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi mengakibatkan konsumsi energi semakin meningkat, terutama kebutuhan terhadap listrik, energi listrik merupakan satu kebutuhan penting yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, listrik tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan sosial tapi juga kebutuhan pribadi, seseorang tidak akan bisa berkomunikasi dengan telepon tanpa ada listrik, mengawetkan makanan di lemari es tanpa menggunakan listrik, mendinginkan suhu ruangan tanpa menggunakan listrik. Peningkatan penggunaan listrik ini bisa dijadikan sebagai indikator sebuah kemakmuran suatu masyarakat, Beberapa tahun yang lalu untuk menghasilkan listrik manusia bergantung kepada bahan bakar seperti minyak, batu bara dan gas untuk dijadikan sumber penghasil listrik.

Untuk pencapaian energi listrik pada daerah-daerah terpencil yang tidak dapat dijangkau oleh PT. PLN seperti pada daerah pegunungan dan perbukitan maka dibutuhkan alternatif dalam pembangkit listrik (M Nur Syafe'i, 2016). Saat ini turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (PLTU, PLTD dll), namun turbin masih perlu pengembangan oleh ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapi dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tak

dapat diperbaharui (contoh: batu bara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk pembangkit listrik. Turbin angin dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu turbin angin sumbu *horizontal* dan turbin angin sumbu *vertical* (Aryanto, Mara, & Made Nuarsa, 2013). Maka dari itu perlunya pengembangan penggunaan turbin angin karena dalam waktu dekat manusia akan menghadapi masalah kekurangan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui.

Penggunaan pembangkit menggunakan bahan bakar minyak dan batu bara pada daerah terpencil biasanya tidak ekonomis, karena skala pembangkitan dan tingginya biaya bahan bakar (M Nur Syafe'i, 2016). Krisis energi di Indonesia dapat diatasi dengan menggunakan energi alternatif, energi alternatif sudah banyak dikembangkan terutama yang bersifat ramah lingkungan. Indonesia sendiri memiliki banyak energi alternatif yang bisa dimanfaatkan antara lain : energi pasang surut, energi angin, energi panas bumi dan energi matahari. Energi alternatif yang mudah didapat adalah energi angin, energi ini menjadi pilihan utama karena tidak akan pernah habis. Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan paling efektif diseluruh dunia karena sumber daya angin selalu tersedia dimanapun berada. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil adalah energi angin (Aryanto et al., 2013).

Daerah di dunia berdasarkan data WWEA (World Wind Energy Association) ditemukan potensi angin dengan kecepatan tinggi, yakni 10 -

13 m/detik (Napitupulu & Mauritz, 2013). Berdasarkan data LIPI, potensi angin di wilayah pantai barat pulau Sumatra (termasuk Sumatra Barat) berada pada kisaran 2,5 sampai 4,0 m/det dengan kapasitas daya sampai dengan 10 kW.(Hasanuddin & Hendri Nurdin, 2019)

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Alat ini dinamakan dengan turbin angin atau kincir angin (Napitupulu & Mauritz, 2013). Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan tenaga angin menjadi energy listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin (Sumiati & Zamri, 2013). Turbin angin memiliki model dan bentuk yang berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat dari sumbunya yang terdiri dari sumbu *vertical* dan *horizontal*. Dari hasil pengujian di lab bahwa pompa yang akan terangkat penuh secara maksimal pada variasi jumlah *blade* 4 dan 6 dengan kecepatan 2,65 dan 3,49 m/s (Sifa, Endramawan, Maolana, & Muhammad, 2018).

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada tanggal 23 September 2018, data yang didapatkan hanyalah berupa rata-rata kecepatan angin dan kecepatan putaran sudu horizontal dan vertikal saja, aplikasi ansys versi 18.0 merupakan sebuah analisa fluida yang dapat mendeteksi berapa kecepatan *inlet* dan *outlet* dan juga analisa sebuah tekanan yang terjadi pada sebuah aliran. Dalam penelitian ini dirancang sebuah pembangkit listrik tenaga angin dengan menggabungkan dua sumbu yang berbeda

yaitu sumbu *vertical* dan sumbu *horizontal* (dual rotor) dengan satu generator, dengan menggunakan gardan mobil sebagai poros utama bagi kedua sumbu tersebut yang dinamakan dengan turbin angin dual rotor. Ini merupakan hal yang menarik untuk diteliti baik dari segi bentuk, sistem dan ukuran yang tepat dalam usaha mencapai efisiensi turbin yang maksimal. Pemilihan turbin angin dual rotor ini dirasa cocok untuk diangkat menjadi objek penelitian, untuk mengetahui efisiensi dan daya kinerja dari sebuah turbin harus dilakukan pengukuran dengan teliti dan tepat, untuk menghindari kesalahan dalam melakukan penelitian maka penulis melakukan analisa menggunakan aplikasi ansys agar hasil dari penelitian tepat dan akurat. Ansys adalah sebuah aplikasi rekayasa engineering seperti analisa struktur, *thermal*, *fluid*, *electromagnetic* dan lain-lain.

Untuk membuat simulasi kinerja dari turbin angin peneliti menggunakan aplikasi CFD ansys 18.0. Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida perpindahan panas reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (Harahap, 2017). Peneliti ingin mengetahui perubahan kecepatan angin dan besar tekanan pada area *inlet* dan *outlet*. Serta daya yang dihasilkan turbin angin berdasarkan hitungan secara teoritis.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan masalah diatas penulis dapat mengidentifikasi beberapa masalah diantaranya:

1. Kemiringan sudut pada sudu turbin angin *horizontal* menentukan kecepatan putaran rotor.
2. Pada pengukuran manual tidak bisa menentukan berapa besar tekanan yang dihasilkan pada *bladekincir* angin.
3. Pada pengukuran manual bidang terpaan angin tidak bisa ditentukan dengan kasat mata sebab pengukuran manual hanya bisa menentukan kecepatan angin dan kecepatan putaran saja.

C. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu jauh maka penulis hanya membahas *maximum velocity* dan *pressure* dengan *input velocity* sebesar 4 m/s menggunakan aplikasi ansys 18.0, daya serta efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin.

D. Rumusan Masalah

Dikarenakan keterbatasan penulis maka penulis merumuskan masalah kedalam beberapa poin penting diantaranya adalah:

1. Dimanakah letak bidang terpaan angin tertinggi terhadap sudu kincir angin dengan kemiringan sudut 15° menggunakan aplikasi ansys 18.0.?
2. Berapakah tekanan maskimal yang dihasilkan pada blade kincir angin dengan *input velocity* sebesar 4 m/s menggunakan aplikasi ansys 18.0.?

3. Berapakah daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan kecepatan angin 4 m/s ?

E. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui letak bidang terpaan angin tertinggi pada bilah sudu kincir angin dengan sudut blade 15° menggunakan aplikasi ansys 18.0.
2. Mengetahui tekanan maksimal yang bisa diterima oleh blade kincir angin dengan kemiringan sudut 15° dan *velocity input* sebesar 4 m/s menggunakan aplikasi ansys 18.0.
3. Mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan kecepatan angin 4 m/s.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai pengembangan ilmu dan menambah wawasan penulis dalam bidang rancang bangun hingga menganalisis sebuah alat.
2. Memberikan kontribusi terhadap masyarakat untuk memenuhi kebutuhan dibidang energi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa suatu sistem yang tertutup memiliki energi yang konstan. Dalam suatu sistem energi yang tertutup tersebut, membuat energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat berubah dari suatu bentuk ke bentuk lainnya. Energi adalah ukuran dari kesanggupan benda untuk melakukan suatu usaha. Energi berasal dari bahasa Yunani yaitu *energia* yang berarti kemampuan untuk melakukan usaha. Menurut (M Nur Syafe'i, 2016) ditinjau dari ketersediaannya, sumber energi secara garis besar dapat dibedakan menjadi 2 kelompok :

1. Sumber Energi Terbarukan

(M Nur Syafe'i, 2016) Sumber energi terbarukan merupakan segala sumber energi yang tidak terbatas jumlahnya dan dapat dimanfaatkan secara terus menerus serta dapat dipergunakan secara langsung.

Contoh energi terbarukan di antaranya:

a. Energi Matahari.

Energi surya sangat berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi alternatif. Pemanfaatan energi surya ini dapat dilakukan secara termal maupun melalui *fotovoltaik*.

Pemanfaatan secara termal dapat dilakukan dengan membiarkan objek pada radiasi matahari atau menggunakan peralatan yang mencakup kolektor dan konsentrator surya. Sedangkan surya *fotovoltaik* yang lebih dikenal dengan *solar cell* atau *photovoltaik cell* merupakan *divais semikonduktor* yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian dioda.

b. Energi Angin

Angin merupakan salah satu energi yang sedang dikembangkan oleh negara-negara didunia. Berdasarkan data dari GWEC, jumlah pembangkit listrik tenaga angin yang ada didunia saat ini adalah sekitar 157.900 Mwatt (sampai akhir tahun 2009) dan pembangkit ini setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 20-30%.

Namun demikian, menurut(Lubis, 2007) menyatakan bahwa Indonesia termasuk negara angin, mengingat bahwa kecepatan angin minimum rata-rata yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai penyedia jasa energi adalah 4 m/s.

c. Energi Samudera / Laut.

Energi samudera ada 4 macam, yaitu :

- 1) Energi panas laut, yaitu dengan menggunakan beda temperatur antara temperatur permukaan laut dan temperatur dasar laut.
- 2) Energi pasang surut, dengan menggunakan beda ketinggian antara laut pasang terbesar dengna laut surut terkecil.

- 3) Energi gelombang, adalah dengan menggunakan besar ketinggian gelombang dan panjang gelombang .
- 4) Energi arus laut, prinsip kerja yang hampir sama dengan turbin angin. Dengan menggunakan turbin akan dihasilkan energi listrik.

d. Energi Air.

Energi yang bersumber dari air telah lama digunakan oleh manusia baik dalam sektor irigasi sampai dengan pemanfaatan dalam dunia teknologi di zaman moderen saat ini. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, serta menunjang pemanfaatan energi terbarukan dalam mengurangi penggunaan BBM.

2. Sumber Energi Tak Terbarukan

Sumber energi tak terbarukan didefinisikan sebagai sumber energi yang tidak dapat diisi atau dibuat kembali oleh alam dalam waktu yang singkat. Sumber energi tak terbarukan adalah segala sumber energi yang membutuhkan proses pengolahan sebelum dapat dipergunakan yang jumlahnya terbatas pada ketersediaan yang ada pada saat itu dan membutuhkan waktu lama dalam pembaruan ketersediaanya.

Contoh energi tak terbarukan:

a. Energi Fosil.

Setelah ratusan juta tahun, semua organisme tersebut terakumulasi di bawah panas dan tekanan yang hebat dan terkonversi menjadi sumber energi yang berwujud padat, cair, atau gas. Masing-masing adalah batu bara (padat), minyak bumi (cair), dan gas alam (gas).

Bahan bakar fosil ini merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui mengingat butuh waktu lama dalam proses terbentuknya. Sehingga, apabila digunakan secara terus-menerus, persediaannya akan cepat habis. Ketergantungan masyarakat akan ketersediaan energi fosil ini akan terus menguras cadangan energi yang tersimpan di dalam perut bumi. Sebuah lembaga konsultan Norwegia, Rystad Energi menyebutkan, bahwa cadangan minyak dunia hanya akan bertahan selama 70 tahun.

b. Energi Mineral Alam.

Mineral alam adalah senyawa alami yang terbentuk melalui proses geologis. Istilah mineral tidak hanya bahan komposisi kimia saja, tetapi di dalamnya termasuk komposisi unsur murni dan garam sederhana sampai dengan silikat yang sangat kompleks (Aisyah & Cici, 2016). Bahan mineral alam yang biasa dimanfaatkan menjadi sumber energi yang bersifat ekonomis contohnya adalah *uranium*. Bahan bakar yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga nuklir diperoleh melalui penambangan dan pemurnian bijih *uranium*.

Dalam prosesnya, inti dari *uranium* ini terbelah menjadi inti-inti dari atom-atom yang lebih ringan yang dalam proses ini akan menimbulkan panas yang sangat tinggi.

B. Turbin Angin

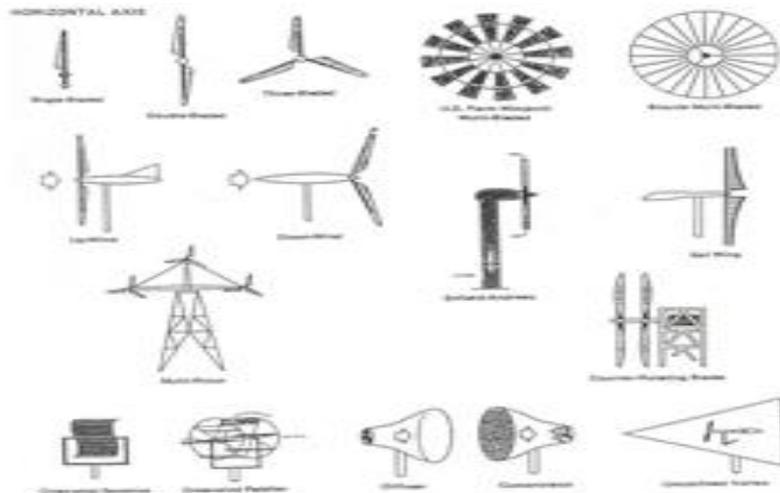
Farel H Napitulu (2013) Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik, alat ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut juga dengan kincir angin. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menerima energi kinetik dari angin. Awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi dll. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda dan Negara Eropa lainnya. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk kebutuhan listrik masyarakat, menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.(Hamdi, 2016)

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin angin *horizontal*

Turbin angin sumbu *horizontal* adalah jenis turbin angin paling banyak digunakan. Turbin ini terdiri dari menara yang dipuncaknya terdapat baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan menghadap atau membelakangi arah angin, kebanyakan turbin jenis seperti ini

mempunyai dua atau tiga bilah baling-baling. Contoh turbin angin sumbu *horizontal* ditunjukkan pada gambar 1.



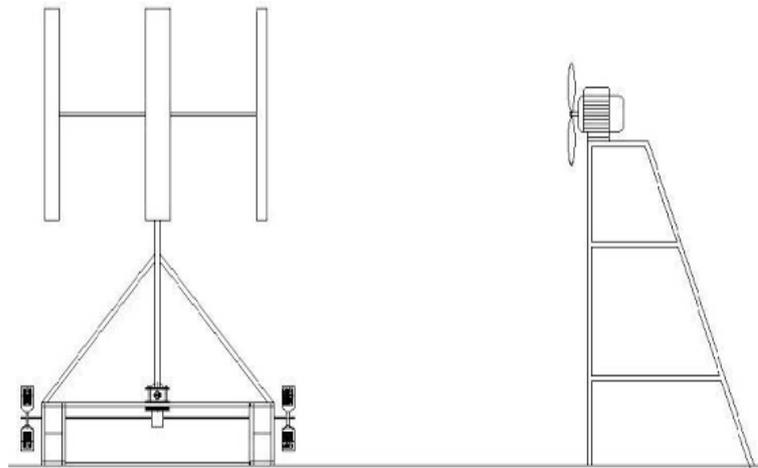
Gambar 1. Turbin Angin Sumbu *Horizontal*
Sumber: (Hamdi, 2016)

2. Turbin Angin Sumbu *Vertical*

Turbin sumbu *vertical* dibagi menjadi dua jenis yaitu Darrieus dan Savonius.

a. Turbin Darrieus

Turbin Darrieus mula-mula dikenalkan di Prancis sekitar tahun 1920-an. Turbin angin sumbu *vertical* ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar ke dalam dan keluar dari arah angin (Hamdi, 2016). Contoh turbin angin Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2.

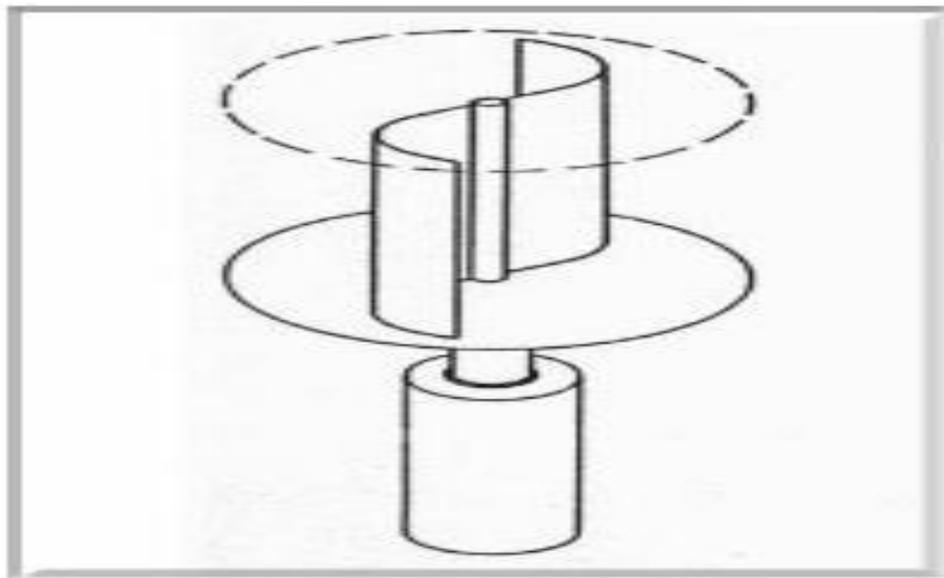


Gambar 2. Turbin Angin Darrieus

Sumber: [//www.google.com.turbin+darrieus.com](http://www.google.com.turbin+darrieus.com)

b. Turbin Savonius

Turbin Savonius diciptakan pertama kali di negara Finlandia dan berbentuk S apabila dilihat dari atas, turbin jenis ini secara umumnya bergerak secara perlahan dibandingkan dengan jenis turbin angin sumbu *horizontal* tetapi menghasilkan torsi yang lebih besar. Contoh turbin savonius ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Turbin Angin Savonius

Sumber: [//www.google.com/turbin+savonius](http://www.google.com/turbin+savonius)

Menurut (Hamdi, 2016) komponen-komponen sebuah turbin angin terdiri dari beberapa bagian yaitu:

1. *Blades* (Bilah Kipas)

Kebanyakan turbin angin mempunyai dua atau tiga bilah kipas, angin yang berhembus menyebabkan turbin tersebut berputar.

2. *Brake* (Rem)

Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis, dengan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.

3. *Controller* (Alat Pengontrol)

Alat pengontrol ini memulai turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-15 Km/jam, dan mematkannya pada kecepatan 90 Km/jam. Turbin tidak dapat berfungsi diatas 90 Km/jam karena angin terlalu kencang dan dapat merusaknya.

4. *Gear Box* (Roda Gigi)

Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800 rpm yaitu putaran yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.

5. *Generator*

Generator pembangkit listrik biasanya sekarang *alternator* arus bolak balik.

6. *High Speed Shaft* (Poros Putarang Tinggi)

Menggerakkan generator.

7. *Low Speed Shaft* (Poros Putaran Rendah)

Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.

8. *Nacelle* (Rumah Mesin)

Rumah mesin terletak diatas menara, di dalamnya berisi *gear box* putaran tinggi dan putaran rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.

9. *Pitch* (Sudut Bilah Kipas)

Bilah kipas bisa diatur sudutnya untuk mengatur kecepatan rotor yang dikehendaki, tergantung angin terlalu rendah dan angin terlalu kencang.

10. *Rotor*

Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.

11. *Tower* (Menara)

Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi, karena kencangnya angin bertambah pada ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapatkan.

12. *Wind direction* (Arah Angin)

Turbin yang menghadap angin , turbin lain ada yang mendapat embusan angin dari belakang.

13. *Wind Vane* (Tebeng Angin)

Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.

14. *Yaw Drive* (Penggerak Arah)

Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin, untuk turbin yang mendapatkan embusan angin dari belakang tidak memerlukan ini.

15. *Yaw Motor* (Motor Penggerak Arah)

Motor listrik yang mennggerakkan arah.

C. Potensi Energi Angin

Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar *blade* yang terdapat pada kincir angin, dimana *blade* ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang terhubung dengan *generator* sehingga menghasilkan arus listrik. Kincir yang besar dapat digabungkan secara bersama-sama sebagai energi tenaga angin, dimana akan memberikan daya ke dalam sistem transmisi kelistrikan.

1. Energi Kinetik Angin

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E = 0,5 m \cdot v^2$ dengan asumsi bahwa kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus di atas berlaku juga untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga rumusnya dapat dituliskan sebagai berikut: (Aryanto et al., 2013)

$$EK = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Keterangan:

EK = Energi kinetik (joule) v = Kecepatan (m/s)

m = Massa udara (Kg)

Bila suatu blok udara mempunyai penampang $A \text{ m}^2$, bergerak dengan kecepatan $v \text{ m/s}$, maka jumlah masa yang melewati suatu tempat adalah

$$m = \rho Av$$

keterangan:

m = Laju aliran masa (kg/s)

A = Luas (m^2)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

V = Kecepatan (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin menggunakan teori Momentum Elementer Betz.

2. Daya Angin

Daya adalah energi persatuan waktu. Daya angin beebanding lurus dengan kerapatan udara dan kubik kecepatan angin seperti diungkapkan dengan persamaan berikut (Umanand,2007).

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

keterangan:

p = Daya angin (watt)

ρ = Massa jenis angin (Kg/m^3)

A = Luas penampang melintang aliran (m^2)

v = kecepatan angin (m/s)

3. Tidak semua jenis angin dapat digunakan untuk memutar turbin angin. Klasifikasi dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Kondisi angin

Tabel Kondisi Angin			
Kelas angin	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Angin Km/jam	Kecepatan Angin Knot/jam
1.	0,3 ~ 1,5	1 ~ 5,4	0,58 ~ 2,92
2.	1,3 ~ 3,3	5,5 ~ 11,9	3,11 ~ 6,42
3.	3,4 ~ 5,4	12,0 ~ 19,5	6,61 ~ 10,5
4.	5,5 ~ 7,9	19,6 ~ 28,5	10,7 ~ 15,4
5.	8,0 ~ 10,7	28,6 ~ 38,5	15,6 ~ 20,8
6.	10,8 ~ 13,8	38,6 ~ 49,7	21 ~ 26,8
7.	13,9 ~ 17,1	49,8 ~ 61,5	27 ~ 33,3
8.	17,2 ~ 20,7	61,6 ~ 74,5	33,5 ~ 40,3
9.	20,8 ~ 24,4	74,6 ~ 87,9	40,5 ~ 47,5
10.	24,5 ~ 28,4	88,0 ~ 102,3	47,7 ~ 55,3
11.	28,5 ~ 32,6	102,4 ~ 117,0	55,4 ~ 63,4
12.	>32,6	>118	63,4

Sumber: Hamdi (2016).

Klasifikasi angin pada tabel 2 yaitu kelompok 3 adalah batasan minimum energi dan kelompok 8 adalah batasan maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Pada kelompok 1 dan 2 kecepatan angin terlalu rendah sehingga bilah tidak dapat berputar, sedangkan pada kelompok 9 sampai kelompok 13 tidak dapat digunakan sebagai pembangkit listrik karena dapat menyebabkan kerusakan pada turbin angin.

Tabel 2 Tingkat kecepatan angin 10 meter diatas permukaan tanah

Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1.	0,00 – 0,02	
2.	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus keatas
3.	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4.	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5.	5,5 – 17,9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6.	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7.	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air berombak kecil
8.	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, embusan angin terasa ditelinga
9.	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10.	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah roboh
11.	24,5 – 28,4	Dapat merobohkan pohon, menimbulkan kerusakan
12.	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13.	32,7 – 36,9	Tornado

Sumber: Hamdi (2016)

4. Daya listrik

$$P = V.I$$

Keterangan:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (N)

I = Kuat arus (A)

5. Koefisien daya

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin angin dengan daya angin melalui penampang rotor.

$$C_p = \frac{power}{0,5 \rho U^3 A}$$

Keterangan:

C_p = koefisien daya

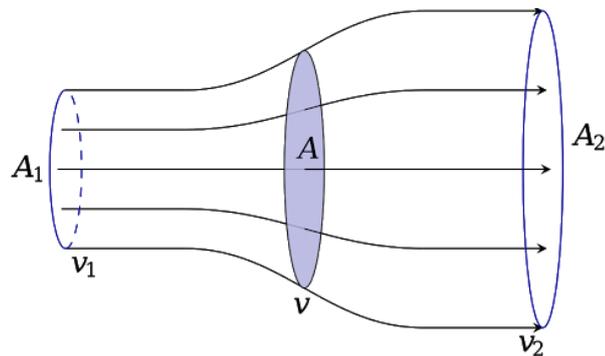
U = kecepatan angin (m/s)

A = Luas penampang (m²)

ρ = Massa jenis angin (1.2 Kg/m³)

D. Teori Momentum Elementer Betz

(Aryanto et al., 2013) Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya. Model aliran Momentum Betz dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Model Aliran Betz
 Sumber: (Aryanto et al., 2013)

(Harun Ismail, 2016) Luas A adalah luas sapuan penampang turbin, luas A1 dan A2 adalah luas penampang aliran masuk dan aliran keluar dengan massa angin konstan melalui A, A1 dipesisikan pada arah datangnya angin tanpa dipengaruhi oleh rotor turbin dan A2 dipesisikan pada kecepatan angin rendah.

E. Efisiensi Turbin Angin

1. Efisiensi mekanis

Efisiensi kincir angin secara teoritis adalah berupa perbandingan antara tenaga yang dapat dibangkitkan (efektif) terhadap tenaga teoritis (input) dari aspek besaran kecepatan pusaran angin yang menerpa sudu-sudu kincir angin. (Nurdin & Refdinal, 2014)

$$\mu = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{teori}}} \times 100\%$$

Gearbox merubah laju putar menjadi lebih cepat, konsekuensinya dengan momen gaya yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan generator yang ada dibelakangnya, generator kemudia mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. efisiensi transmisi

gearbox dan bearings (N_b , bisa mencapai 95%) dan efisiensi generator (N_g , ~ 85%). (Aryanto et al., 2013). Maka efisiensi total turbin angin dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_{total} = C_p \cdot N_b \cdot N_g$$

Berdasarkan rumus efisiensi tersebut rumus untuk mengetahui daya turbin adalah: (Aryanto et al., 2013)

$$P = \eta_{total} \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ (W)}$$

Keterangan:

P = Daya Turbin (W)

η = Efisiensi total

ρ = Massa jenis angin (Kg/m^3)

A = Luas penampang melintang aliran (m^2)

V = kecepatan angin (m/s)

2. Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas (Aryanto et al., 2013). Untuk kecepatan angin nominal tertentu tip speed ratio akan berpengaruh terhadap kecepatan rotor

. Tip speed ratio dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{60 \cdot V}$$

Keterangan:

λ = tip speed ratio

r = jari-jari (m)

n = putaran rotor (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

3. Torsi

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar terhadap suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut. Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus: (Ruzita Sumiati, 2013)

$$T = \frac{P}{2\pi \cdot n / 60}$$

T = Torsi (Nm)

P = Daya (Watt)

n = Putaran (rpm)

F. Air foil

Airfoil adalah bentuk aerodinamik yang ditujukan untuk menghasilkan gaya angkat (lift) yang besar dengan gaya hambat (drag) yang sekecil mungkin (Teddy Nurcahyadi, 2008). Ketika suatu airfoil

dilewati oleh aliran fluida maka dengan adanya pengaruh variasi kecepatan dan tekanan sepanjang permukaan atas dan bawah airfoil serta dibagian depan dan belakang airfoil. Gaya angkat airfoil inilah yang kemudian dimanfaatkan pada berbagai aplikasi teknik, besar kecilnya gaya angkat yang dihasilkan berubah-ubah sesuai geometri airfoil dan kondisi operasinya.

Profil airfoil dapat pula ditemui pada sudu-sudu rotor turbin angin, gaya angkat yang dihasilkan pada sudu-sudu turbin angin dimanfaatkan untuk memutar generator listrik yang terhubung dengan poros rotor turbin angin. Gaya angkat yang terjadi pada airfoil karena tekanan aliran di permukaan atas airfoil lebih rendah daripada tekanan aliran permukaan dibawahnya. Koefisien Angkat (C_L) dan Koefisien Hambat (C_D) Koefisien angkat merupakan perbandingan antara tekanan angkat yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengalir airfoil, berikut adalah rumus mencari koefisien angkat (C_L):(Teddy Nurcahyadi, 2008)

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_P}$$

Keterangan:

C_L = koefisien angkat

F_L = gaya angkat

ρ = massa jenis udara (Kg/m^3)

V = kecepatan aliran bebas (m/s)

A_P = luasan proyeksi maksimum dari sayap (m^2)

Koefisien hambat merupakan perbandingan antara tekanan hambat yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengalir airfoil.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_P}$$

Keterangan:

C_D = koefisien hambat

F_D = gaya angkat

ρ = massa jenis udara (Kg/m^3)

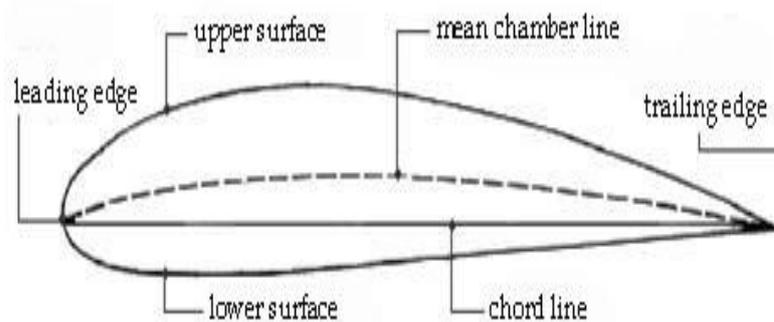
V = kecepatan aliran bebas (m/s)

A_P = luasan proyeksi maksimum dari sayap (m^2)

Menurut literatur yang ada penggunaan bentuk sudu turbin berdasarkan *air foil* NACA 4415 cocok untuk daerah yang memiliki angin relatif kecil karena memiliki gaya angkat yang besar. *Airfoil* NACA (*National Committe For Aeronautics*) adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya. Dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter berupa CL , dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan) (Mustaqim, 2016). Desain sudu yang banyak digunakan beberapa tipe dari NACA seperti 4412, 4415, 4418 dengan bervariasi jumlah sudu diantaranya *singel blade*, *two blade*, *three blade* dan *multi*

blade. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan NACA 4415 sebagai basis dalam pembuatan sudu turbin angin dengan jumlah sudu tiga buah.

NACA 4415 dipilih karena mempunyai beberapa keunggulan, yaitu dikenal sebagai *airfoil* yang ramping dan kekuatan koefisien rata-ratanya lebih tinggi dari sudu lainnya, sehingga sesuai untuk dioperasikan pada kecepatan tinggi, serta mempunyai fakta bahwa *airfoil* ini menunjukkan sifat yang baik untuk sudu turbin angin kecil, perhatikan gambar 5(Mustaqim, 2016).

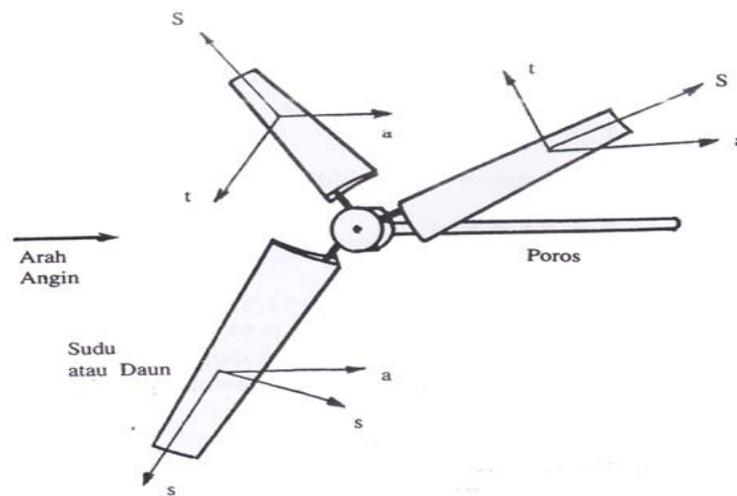


Gambar 5. Profil Airfoil NACA 4415
Sumber: www.airfoalnaca4415img.com

Pengujian turbin angin dengan modifikasi standar NACA 4415 pernah dilakukan oleh Sudarsono(2013), pengujian menggunakan turbin angin *horizontal* dengan jumlah sudu 3 dan berdiameter 1.5 meter serta berbahan kayu sengon laut, hasil pengujiannya didapatkan bahwa daya output 50 watt – 240 watt pada *interval* kecepatan angin rata-rata Indonesia 3 m/s sampai 5 m/s. Rotor turbin mempunyai torsi 25 Nm – 75 Nm sehingga rotor turbin mempunyai koefisien daya C_p 0.35 – 0.40 pada interval kecepatan angin rata-rata 3 m/s - 5 m/s(Mustaqim, 2016).

Gaya-gaya angin yang bekerja pada sudut-sudut kincir pada dasarnya terdiri atas tiga komponen sebagai berikut, perhatikan gambar 6.

- Gaya aksial a mempunyai arah sama dengan arah angin.
- Gaya sentrifugal s yang meninggalkan titik tengah.
- Gaya tangensial menghasilkan momen bekerja tegak lurus jari-jari



Gambar 6. Sudut pada rotor blade
Sumber: fisika energy

G. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida perpindahan panas reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (Andri Maulana Harahap, 2017)

Firman Tuakia (2008) dalam Andri Maulana Harahap (2017) Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDE = *Partial Differential Equation*) yang mengaplikasikan hukum-hukum

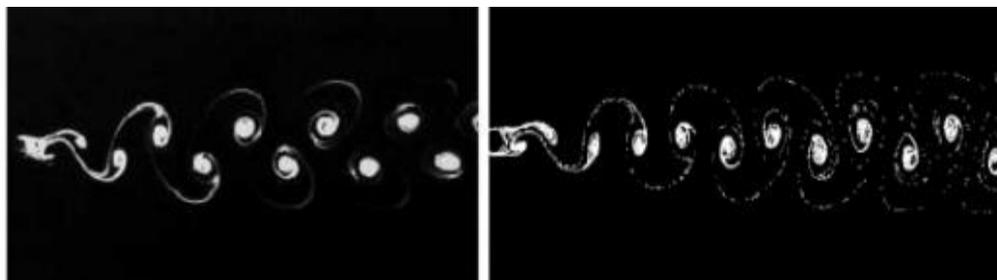
konservasi massa, momentum dan energi. CFD memprediksi aliran berdasarkan:

1. model matematika (persamaan diferensial parsial), khususnya memecahkan persamaan Navier-Stokes;
2. metode numerik (teknik solusi dan diskritisasi);
3. tools perangkat lunak (solvers, tools pre- dan post processing). (Firman Tuakia, 2008 : 2)

CFD dapat dipergunakan bagi:

1. Arsitek untuk mendesain ruang atau lingkungan yang aman dan nyaman.
2. Desainer kendaraan untuk meningkatkan karakter aerodinamiknya.
3. Analisis kimia untuk memaksimalkan hasil dari reaksi kimia dalam peralatan mereka.
4. Insinyur petrokimia untuk strategi optimal dari oil recovery.
5. Ahli biomekanik untuk mencari rahasia dari gerakan burung sampai dengan ikan lumba-lumba.
6. Pelatih atau analis sport, misalnya untuk mencari rahasia tendangan melengkung pada sepak bola.
7. Dokter atau ahli bedah untuk mengobati penyakit arterial (computational hemodynamics).
8. Meteorologis (ahli cuaca) untuk meramalkan cuaca dan memperingatkan akan terjadinya bencana alam.

9. Ahli safety untuk mengurangi resiko kesehatan akibat radiasi dan zat berbahaya lainnya.
10. Analisis failure untuk mencari sumber-sumber kegagalan misalnya pada suatu sistem pembakaran atau aliran uap panas.
11. Organisasi militer untuk mengembangkan senjata dan mengestimasi seberapa besar kerusakan yang diakibatkannya. (Firman Tuakia, 2008 : 3)



Hasil percobaan

Hasil CFD

Gambar 7. Perbandingan hasil percobaan dengan hasil CFD
(Sumber : Firman Tuakia, 2008 pada Harahap 2017)

Penggunaan CFD umumnya berhubungan dengan keempat hal berikut:

1. Studi konsep dari desain baru
2. Pengembangan produk secara detail
3. Analisis kegagalan atau troubleshooting
4. Ansys Fluent

Firman Tuakia (2008) pada Harahap (2017) Ansys Fluent adalah salah satu jenis Ansys Fluent program CFD yang menggunakan metode volume hingga. Ansys Fluent menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah.

Ansys Fluent menggunakan teknik kontrol volume untuk mengubah persamaan pembentuk aliran menjadi persamaan aljabar sehingga dapat diselesaikan secara numerik. Teknik berbasis volume control ini mengandung pengintegralan setiap persamaan pembentuk aliran pada tiap-tiap volume control, menghasilkan persamaan-persamaan diskrit yang mengkonservasikan tiap jumlah yang ada pada volume control. Faisal Hajj (2013) pada Harahap (2017).

Secara lengkap langkah-langkah Ansys Fluent dalam menyelesaikan suatu analisis numerical masalah adalah sebagai berikut:

1. Membuat geometri dan mesh pada model.
2. Memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
3. Mengimpor mesh model (grid).
4. Melakukan pemeriksaan pada mesh model.
5. Memilih formulasi solver.
6. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.
7. Menentukan sifat material yang akan dipakai.
8. Menentukan kondisi batas.
9. Mengatur parameter kontrol solusi
10. Initialize the flow field.
11. Melakukan perhitungan/iterasi.
12. Menyimpan hasil iterasi.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang penulis lakukan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kecepatan angin yang semula adalah 4 m/s pada inlet berubah menjadi 3.99237 m/s.
2. Maksimum velocity pada area plane yang dihasilkan adalah 15.3185 m/s.
3. Maximal tekanan yang didapatkan di area inlet adalah 0.133612 Pa. Sedangkan tekanan yang dihasilkan pada area inlet adalah 0.0523853 Pa.
4. Tekanan yang terjadi pada area outlet adalah 0 Pa.
5. Daya yang dihasilkan adalah 35.4 watt untuk pengujian secara teori dan 19.75 watt untuk pengujian secara langsung.
6. Efisiensi yang didapatkan adalah 55.8 % hal ini mendekati batas Betz limit dengan efisiensi maksimal adalah 59.3 %.
7. Hasil analisis *numerical* aplikasi Ansys Fluent versi 18.0 dapat dijadikan menjadi bahan pertimbangan sebelum melakukan pengujian eksperimental dan hasil analisis *numerical* aplikasi Ansys Fluent versi 18.0 dapat digunakan tanpa melakukan pengujian eksperimental.

B. SARAN

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian yang telah peneliti lakukan, berdasarkan hal tersebut ada beberapa saran yang dapat penulis berikan kepada peneliti selanjutnya, yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya agar pembuatan aliran fluida (air) diperpanjang agar dalam penelitian tersebut bisa dilihat panjang alirannya.
2. Dalam melakukan analisis *numerical* aliran fluida menggunakan Ansys Fluent versi 18.0 membutuhkan jenis *Processor* dan RAM komputer/laptop yang *high-end* seperti Intel Core i3, Intel Core i5 dan Intel Core i7, sedangkan untuk RAM DDR3 minimal 4 Gb. Analisis *numerical* yang telah dilakukan penulis membutuhkan waktu penghitungan iterasi ± 6 jam dalam satu kali analisis *numerical*, dimana jenis *Processor* dan RAM yang digunakan adalah Intel Core i5 dan RAM DDR3 4 Gb.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, N., & Cici, A. (2016). *Sumber Daya Mineral Dan Energi*.
- Aryanto, F., Mara, I. M., & Made Nuarsa. (2013). *Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal*, 3(1), 50–59.
- Hamdi. (2016). *Energi Terbarukan*. Yogyakarta.
- Harahap, A. M. (2017). *Analisis Numerical Aliran Fluida pada Rumah Vortex Turbine dengan Water Dept 200 mm dan Inlet Velocity 0.20 m/s Menggunakan Aplikasi Ansys Fluent Versi 16.2*. Padang.
- Harun Ismail. (2016). *Desain Blade Angle Pitch Control Pada Turbin Angin Tipe Propeller Menggunakan Fuzzy Logic Controller Di Pantai Pancer Puger Jember*.
- Hasanuddin, & Hendri Nurdin. (2019). *Unjuk Kerja Kincir Angin Transmisi Roda Gigi Planiter Differensial untuk Peningkatan Revolutionary Energy dan Konversi Potensi Angin Menjadi Tenaga Listrik*, Padang.
- Hasanuddin, dkk. (2014). *Recognition of Hemi-Savonius Windmill as Energi Conversion System Model on Windmill Techno Park at Coastal Area*
Recognition of Hemi-Savonius Windmill as Energi Conversion System Model on Windmill Techno Park at Coastal Area.
- Lubis, A. (2007). *Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 155–162.
- M Nur Syafe'i. (2016). *Rancang Bangun Simulasi Turbin Air Cross Flow*. Universitas Negeri Padang.
- Mustaqim, T. (2016). *Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kerja Turbin Angin Horisontal Berbasis Naca 4415*. Jember
- Napitupulu, F. H., & Mauritz, F. (2013). *Uji Eksperimental Dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan Sudu Pengarah*. *Jurnal Dinamis*, II(12), 11.
- Sifa, A., Endramawan, T., Maolana, I., & Muhammad, A. R. (2018). *Pengujian Variasi Jumlah Blade Fiberglass Kincir Angin Tipe Horizontal untuk Pemompa Air Garam*, 8(2), 89–97.

Ruzita S, & Zamri, A. (2013). *Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media Pembelajaran*. Jurnal Teknik Mesin, 3(2), 1–8.

Teddy Nurcahyadi, S. (2008). *Pengaruh Lokasi Ketebalan Maksimum Airfoil Simetris terhadap Koefisien Angkat*, 11(1), 110–124.